

УДК 621.383.523

МЕТОДЫ ПАССИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ЛАВИННЫХ ФОТОДИОДОВ AlInAs/InGaAs С МЕЗА-СТРУКТУРОЙ

Копытов П.Е. (Университет ИТМО), Андриюшкин В.В. (Университет ИТМО), Ковач Я.Н.
(Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент ИПСПД Колодезный Е.С. (Университет ИТМО)

Введение. Лавинные фотодиоды (ЛФД) на гетероструктурах InAlAs/InGaAs являются ключевыми компонентами приемников магистральных систем волоконно-оптической связи [1], в том числе приемников однофотонного излучения для перспективных квантовых каналов распределения ключей [2]. Наряду со спектральной чувствительностью, напряжением пробоя и коэффициентом усиления, важнейшей характеристикой ЛФД является величина обратного тока, измеренного в режиме без подачи сигнала внешней засветки - темновой ток. Шумовые характеристики ЛФД в гейгеровском режиме, используемого в качестве детектора одиночных фотонов (ДОФ), имеют ряд особенностей. Напряжение смещения, приложенное к ЛФД, несколько меньше пробивного, а периодически подаваемый дополнительный короткий импульс напряжения переводит диод в метастабильное состояние. Если в это период в области умножения структуры ЛФД появляется носитель заряда, это приводит к формированию токовой лавины и резкому росту тока во внешней цепи, что позволяет регистрировать данное событие. Специальные схемные решения позволяют ограничить уровень возникающего тока и предотвратить разрушение структуры ЛФД в результате теплового пробоя, после чего диод возвращается в исходное состояние с напряжением смещения, несколько меньшим пробивного. Появление носителя заряда в области умножения может быть вызвано не только поглощением фотона, несущего полезную информацию, но и случайным возникновением носителей за счет механизмов тепловой генерации или туннелирования в сильных полях, которые характерны для структур ЛФД. Величина темнового тока является косвенным критерием, позволяющим судить о вероятности таких нежелательных процессов для конкретной приборной структуры. При этом поверхностный темновой ток в целом должен давать не такой сильный вклад, как объемный, поскольку приповерхностным носителям труднее достичь области с сильным полем в правильно спроектированной структуре ЛФД. Однако у поверхности, как правило, имеется существенная концентрация ловушечных уровней, на которых могут временно локализоваться отдельные носители заряда, возникшие при протекании лавинного тока. Это особенно актуально при работе ЛФД в режиме охлаждения. При подаче следующего дополнительного импульса напряжения, данные носители могут выбрасываться из локализованного состояния и, в случае их попадания в область умножения, создавать токовый импульс, не связанный с полезным сигналом. Величина поверхностного темнового тока в существенной степени зависит от плотности зарядовых ловушек и является одним из критериев оценки качества прибора. Таким образом, как для использования ЛФД в классических приемниках излучения волоконно-оптической связи, так и в случае их применения в ДОФ, уменьшение темнового тока, в частности его поверхностной компоненты, является актуальной задачей.

Основная часть. Одним из технологических методов снижения темнового тока ЛФД с меза-структурой является пассивация поверхности. Выбор метода пассивации в первую очередь определяется используемыми в конструкции ЛФД материалами. В данной работе представлен анализ наиболее эффективных вариантов пассивации поверхности InGaAs/InAlAs ЛФД с меза-структурой, раскрытых в научно-технической литературе. Приведены результаты разработки технологического процесса изготовления кристаллов ДОФ на основе лавинных фотодиодов AlInAs/InGaAs с пассивацией поверхности методом сульфидизации с последующей защитой слоем полиамида, топология которых оптимизирована под возможность монтажа методом перевернутого кристалла (flip-chip). Продемонстрированы результаты отработки процесса травления меза-структуры, технологической процедуры

пассивации поверхности AlInAs/InGaAs ЛФД методом сульфидизации с планаризацией поверхностного рельефа полиамидом.

Выводы. Продемонстрированные результаты анализа методов пассивации поверхности ЛФД, отработки процедуры пассивации поверхности AlInAs/InGaAs ЛФД методом сульфидизации с планаризацией поверхностного рельефа полиамидом могут быть использованы для снижения темнового тока при изготовлении кристаллов ДОФ на основе AlInAs/InGaAs ЛФД.

Список использованных источников:

1. Kaniewski J., Piotrowski J. InGaAs for infrared photodetectors. Physics and technology // Opto-Electronics Review. – 2014. – № 12(1). – С. 139–148.
2. Zhang J., Itzler M.A., Zbinden H., Pan J.-W. Advances in InGaAs/InP single-photon detector systems for quantum communication // Light: Science & Application. – 2015. – №4(5). – С. e286.